

Министерство образования Республики Беларусь
Учебно-методическое объединение по естественнонаучному образованию

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель Министра образования
Республики Беларусь

В.А. Богуш

07.09.2015

Регистрационный № ТД-653 тип.

ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ

Типовая учебная программа по учебной дисциплине для специальностей
1-31 04 02 Радиофизика,
1-31 04 03 Физическая электроника,
1-98 01 01 Компьютерная безопасность (по направлениям)
(направление 1-98 01 01-02 Компьютерная безопасность
(радиофизические методы и программно-технические средства)),
1-31 03 07 Прикладная информатика (по направлениям)
(направление 1-31 03 07-02 Прикладная информатика (информационные
технологии телекоммуникационных систем))

СОГЛАСОВАНО

Председатель Учебно-методического
объединения по естественнонаучному образованию

И.В. Романюк



СОГЛАСОВАНО

Начальник Управления высшего
образования Министерства
образования Республики Беларусь

О.И. Романюк

07.09.2015

Проректор по научно-методической
работе Государственного учреждения
образования «Республиканский
институт высшей школы»

И.В. Титович

13.08.2015

Эксперт-нормоконтролер

С.Н. Романюк

02.08.2015

Минск 2015

СОСТАВИТЕЛИ:

С. Г. Мулярчик, зав. кафедрой информатики и компьютерных систем Белорусского государственного университета, доктор технических наук, профессор.

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Кафедра теоретической физики учреждения образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»;

С. С. Белявский, доцент кафедры прикладной математики и экономической кибернетики учреждения образования «Белорусский государственный экономический университет», кандидат физико-математических наук, доцент.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ В КАЧЕСТВЕ ТИПОВОЙ:

Кафедрой информатики и компьютерных систем Белорусского государственного университета
(протокол № 2 от 11.09.2014 г.);

Научно-методическим советом Белорусского государственного университета
(протокол № 1 от 15.09.2014 г.);

Секцией по специальностям 1-31 04 02 «Радиофизика», 1-31 04 03 «Физическая электроника», 1-31 04 04 «Аэрокосмические радиоэлектронные и информационные системы и технологии», 1-31 80 07 «Радиофизика», 1-31 80 08 «Физическая электроника», 1-31 80 15 «Электрофизика, электрофизические установки» научно-методического совета по физике учебно-методического объединения по естественнонаучному образованию
(протокол № 2 от 02.12.2014 г.);

Научно-методическим советом по компьютерной безопасности учебно-методического объединения по естественнонаучному образованию
(протокол № 4 от 09.12.2014 г.);

Секцией по специальности 1-31 03 07 «Прикладная информатика (по направлениям)» научно-методического совета по математике и механике учебно-методического объединения по естественнонаучному образованию
(протокол № 8 от 16.12.2014 г.).

Ответственный за редакцию и выпуск: С. Г. Мулярчик

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Целью изучения учебной дисциплины «Численные методы» является формирование систематизированных знаний, навыков и компетенций в области компьютерных методов решения задач высшей математики и математической физики. К предметной области дисциплины «Численные методы» относятся задачи: приближение функций, вычисление определенных интегралов, вычисление собственных значений и собственных векторов матриц; решение систем линейных алгебраических уравнений, решение систем нелинейных алгебраических уравнений, решение систем обыкновенных дифференциальных уравнений, решение краевых задач для уравнений математической физики эллиптического, параболического и гиперболического типов; решение задач безусловной и условной оптимизации с ограничениями в виде неравенств и равенств.

Основная задача дисциплины – подготовить обучающихся к численному решению на ЭВМ вычислительных задач радиофизики и электроники на профессиональном уровне.

Для успешного усвоения дисциплины необходимы знания по математическому анализу, аналитической геометрии и линейной алгебре, дифференциальным уравнениям, программированию, общей физике.

В результате изучения дисциплины студент должен:

знать:

численные методы решения задач высшей математики и математической физики;

уметь:

применять численные методы при решении математических задач радиофизики и электроники;

владеть:

навыками проведения вычислительных экспериментов.

Освоение образовательной программы по учебной дисциплине «Численные методы» должно обеспечить формирование следующих компетенций:

- АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.
- ПК-1. Проектировать, разрабатывать и тестировать программное обеспечение различных видов.
- ПК-2. Разрабатывать техническую документацию на программное обеспечение.
- ПК-3 Проектировать, разрабатывать и тестировать техническое обеспечение компьютерных и телекоммуникационных систем различных видов.
- ПК-4. Разрабатывать технические задания на проектируемый объект телекоммуникационной сети с учетом результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.
- ПК-5. Проектировать, разрабатывать, внедрять и тестировать насыщенные Интернет приложения.

- ПК-6. Проектировать, разрабатывать системы баз данных.
- ПК-7. Применять профессиональные знания и навыки для проведения научных исследований в области прикладной информатики.
- ПК-8. Разрабатывать и совершенствовать методы исследований в области информационных и телекоммуникационных систем.
- ПК-9. Работать с научно-технической информацией с использованием современных информационных технологий.
- ПК-10. Формулировать выводы и рекомендации по применению результатов научно-исследовательской работы.
- ПК-11. Пользоваться глобальными информационными ресурсами.
- ПК-12. Разрабатывать численные алгоритмы и программы.
- ПК-13. Разрабатывать математические модели радиоэлектронных устройств и систем и проводить вычислительные эксперименты при решении задач проектирования и оптимизации радиоэлектронных систем и устройств

Программа рассчитана максимально на 214 часов, из них аудиторных – 136 (примерное распределение по видам занятий: лекции -68 часов, лабораторные – 68 часов). Если в качестве итоговой формы контроля предусмотрен экзамен, то на подготовку отводится от 28 до 54 часов на каждый экзамен дополнительно.

ПРИМЕРНЫЙ ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

№ п/п	Наименование раздела, темы	Всего	Лекции	Лаборатор- ные занятия
1.	Раздел 1. Основы компьютерных вычислений	4	4	-
1.1	Тема 1. Особенности компьютерной арифметики.	1	1	-
1.2	Тема 2. Свойства численных методов	1	1	-
1.3	Тема 3. Обусловленность решаемых задач	2	2	-
2.	Раздел 2. Задачи высшей математики	74	36	38
2.1	Тема 4. Численное решение систем линейных алгебраических уравнений	22	12	10
2.2	Тема 5. Вычисление собственных значений и собственных векторов	4	4	-
2.3	Тема 6. Численное решение нелинейных уравнений и систем	10	4	6
2.4	Тема 7. Приближение функций	10	4	6
2.5	Тема 8. Численное интегрирование	8	2	6
2.6	Тема 9. Численное решение систем обыкновенных дифференциальных уравнений	20	10	10
3.	Раздел 3. Уравнения математической физики	52	22	30
3.1	Тема 10. Уравнения и краевые задачи	2	2	-
3.2	Тема 11. Конечно-разностные методы решения краевых задач	36	12	24
3.3	Тема 12. Проекционные методы решения краевых задач	14	8	6
4.	Раздел 4. Задачи оптимизации	6	6	-
4.1	Тема 13. Методы одномерного поиска	2	2	-
4.2	Тема 14. Минимизация функций многих переменных при наличии ограничений	4	4	-
	Итого:	136	68	68

СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Раздел 1. Основы компьютерных вычислений

Тема 1. Особенности компьютерной арифметики

Представление данных в ЭВМ. Ошибки округления. Порождаемые вычислительные трудности.

Тема 2. Свойства численных методов

Устойчивость, точность, эффективность, экономичность, отсутствие аварийных остановов.

Тема 3. Обусловленность решаемых задач

Число обусловленности. Плохо обусловленные задачи. Оценка числа обусловленности скалярного произведения векторов, полиномиальной функции, системы линейных алгебраических уравнений.

Раздел 2. Задачи высшей математики

Тема 4. Численное решение систем линейных алгебраических уравнений

Характеристика прямых и итерационных методов. Прямые методы (Гаусса, LU и LL^T - факторизации). Точность и устойчивость решения. Выбор главных элементов. Прямые методы для больших систем с разреженной матрицей. Схема итерационных методов первого порядка. Условие сходимости. Методы простой итерации, Гаусса – Зейделя, последовательной релаксации, неполной факторизации. Метод сопряженных градиентов и его модификации.

Тема 5. Вычисление собственных значений и собственных векторов

Проблема собственных значений. Прямые и итерационные методы решения полной проблемы собственных значений (Данилевского, Якоби). Итерационные методы решения частичной проблемы собственных значений (степенной, обратных итераций).

Тема 6. Численное решение нелинейных уравнений и систем

Отделение корней, уточнение корней. Итерационные методы для уравнений и систем: итераций, Ньютона и его модификации. Выбор начального приближения.

Тема 7. Приближение функций

Интерполирование функций. Интерполяционные формулы Лагранжа и Ньютона. Погрешности и условия применимости интерполяционных формул. Интерполяция локально определенными функциями: кусочно-линейная и сплайн-интерполяция. Аппроксимация функций. Метод наименьших квадратов.

Тема 8. Численное интегрирование

Методы вычисления определенных интегралов: трапеций, Симпсона. Формула Симпсона для двумерных интегралов. Вычисление многомерных интегралов методом Монте - Карло.

Тема 9. Численное решение систем обыкновенных дифференциальных уравнений

Характеристика явных и неявных, одношаговых и многошаговых методов. Явный метод Эйлера, его точность и устойчивость. Жесткие системы. Неявный метод Эйлера. Методы Рунге - Кутты. Явные и неявные многошаговые методы (Адамса, Гира).

Раздел 3. Уравнения математической физики

Тема 10. Уравнения и краевые задачи

Стационарные процессы. Стационарное уравнение переноса. Постановка краевых задач. Разрывные коэффициенты и сосредоточенные источники.

Нестационарные процессы. Нестационарное уравнение переноса (диффузии, теплопередачи). Начальные и граничные условия.

Волновые процессы. Волновое уравнение. Уравнения электромагнетизма. Вихревая и волновая формы. Внутренняя и внешняя задачи электродинамики.

Тема 11. Конечно-разностные методы решения краевых задач

Сетки и сеточные функции. Аппроксимация на равномерной прямоугольной сетке производных, операторов одномерного и двумерного уравнения переноса, волнового уравнения. Использование неравномерных сеток.

Разностные схемы. Аппроксимация, сходимость и устойчивость разностных схем. Порядок точности разностной схемы. Аппроксимация граничных и начальных условий для одномерных и двумерных краевых задач. Исследование устойчивости явной и неявной разностных схем для задач одномерной и двумерной диффузии.

Свойство консервативности. Консервативные разностные схемы. Интегро-интерполяционный метод построения консервативных разностных схем для одномерных краевых задач. Метод интегральных тождеств для двумерных и трехмерных задач. Консервативная разностная схема для двумерного уравнения электростатики в прямоугольной кусочно-однородной области. Метод интегральных тождеств на треугольных сетках.

Трехмерное моделирование электромагнитных процессов. Сетки пространственной и временной дискретизации. Конечно-разностная аппроксимация вихревых уравнений. Устойчивость разностной схемы.

Тема 12. Проекционные методы решения краевых задач

Введение в проектирование. Проекционные методы Галеркина, Ритца, конечных элементов. Построение методом конечных элементов разностных схем для краевых задач двумерных уравнений Лапласа и Пуассона.

Раздел 4. Задачи оптимизации

Тема 13. Методы одномерного поиска

Постановка задачи нелинейного программирования. Ключевые понятия и определения. Безусловная минимизация функций одной переменной. Методы «золотого сечения», квадратичной аппроксимации, Ньютона. Безусловная минимизация функций многих переменных. Методы

покоординатного спуска, локальных вариаций, наискорейшего спуска, спуска с ускорением, сопряженных градиентов.

Тема 14. Минимизация функций многих переменных при наличии ограничений

Ограничения в виде неравенств. Штрафные функции. Использование последовательной безусловной минимизации.

Ограничения в виде равенств. Метод проекции вектора-градиента.

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Самарский, А. А. Введение в численные методы. / А.А. Самарский. М.: Наука, 1982. 272 с.
2. Вержбицкий, В. М. Численные методы. / В.М. Вержбицкий. М.: Высшая школа, 2005. 841 с.
3. Турчак, Л. И. Основы численных методов: учебное пособие для студентов вузов. / Л.И. Турчак, П.В. Плотников. М.: Физматгиз, 2005. 301 с.
4. Мулярчик, С. Г. Численные методы: конспект лекций. / С.Г. Мулярчик. Мн.: БГУ, 2001. 127 с.
5. Зализняк, В. Е. Основы вычислительной физики: учебное пособие для студ. вузов./ В.Е. Зализняк. М. : Техносфера, 2008. 224 с.
6. Мулярчик, С. Г. Вычислительная электроника: конспект лекций. / С.Г. Мулярчик. Мн.: БГУ, 2003. 148 с.
7. Марчук, Г. И. Методы вычислительной математики: Учебн. пособие./ Г. И. Марчук. М.: Наука, 1980. 536 с.
8. Зенкевич, О. Конечные элементы и аппроксимация./ О. Зенкевич, К. Морган. М.: Мир, 1986. 318 с.
9. Химмельблау, Д. Прикладное нелинейное программирование./ Д. Химмельблау. М.: Наука, 1976. 548 с.

Дополнительная

1. Крылов, В. И. Вычислительные методы: в 2-х томах. / В.И. Крылов, В.В. Бобков, П.И. Монастырский. М.: Наука, 1976-1977. 700 с.
2. Самарский, А. А. Теория разностных схем./ А.А. Самарский М.: Наука, 1977. 654 с.
3. Хейгеман, Л. Прикладные итерационные методы. / Л. Хейгеман, Д. М. Янг. М.: Мир, 1986. 448 с.
4. Джордж, А. Численное решение больших разреженных систем уравнений. / А. Джордж, Дж. Лю. М.: Мир, 1984. 333 с.
5. Ортега, Дж. Введение в численные методы решения дифференциальных уравнений. / Дж. Ортега, У.Пул. М.: Мир, 1986. 288 с.
6. Поттер Д. Вычислительные методы в физике. / Д. Поттер. М.: Мир, 1975. 392 с.
7. Ильин, В. П. Численные методы решения задач электрофизики./ В. П. Ильин. М.: Наука, 1985. 334 с.
8. Сильвестер, П. Метод конечных элементов для радиоинженеров и инженеров-электриков./ П. Сильвестер, Р. Феррари. М.: Мир, 1986. 192 с.

9. Полак, Е. Численные методы оптимизации. Единый подход./ Е. Полак. М.: Мир, 1974. 320 с.
10. David B. Davidson Computational Electromagnetics for RF and Microwave Engineering. Cambridge University Press, 2005. 405 p.
11. A. Bondeson, T. Rylander, P. Ingelstrom Computational Electromagnetics. Springer, 2005. 220 p.

Примерный перечень лабораторных работ

1. Решение систем линейных алгебраических уравнений методом Гаусса с выбором главного элемента;
2. Решение систем нелинейных алгебраических уравнений методом Ньютона;
3. Решение систем обыкновенных дифференциальных уравнений явным и неявным методом Эйлера;
4. Приближение функций методом наименьших квадратов;
5. Вычисление определенных интегралов методом Симпсона для функций одной и двух переменных.
6. Расчет стационарного распределения температуры в двумерной области с использованием итерационного метода последовательной релаксации.
7. Расчет нестационарного распределения температуры в двумерной области с привлечением прямого метода LU-факторизации.

Методические рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы студентов

- ♦ На теоретических занятиях по лабораторному практикуму обсуждаются особенности изучаемых численных методов, строятся вычислительные алгоритмы, формулируются индивидуальные задания.
- ♦ В рамках самостоятельной работы готовятся компьютерные программы на универсальном либо проблемно-ориентированном языке, либо с использованием одной из систем компьютерной математики.
- ♦ На лабораторных занятиях отлаживаются разработанные программы, проводятся запланированные вычислительные эксперименты.

Рекомендуемые средства диагностики:

- Индивидуальные задания на лабораторных занятиях;
- Тесты по отдельным разделам дисциплины как форма допуска к лабораторным занятиям;
- Письменные отчеты по лабораторным работам;
- Зачет по лабораторному практикуму;
- Письменные контрольные работы по лекционному курсу;
- Письменный либо устный экзамен по лекционному курсу.